

УДК 624.012.4

**В. В. Габова<sup>а</sup>, М. В. Быкодеров<sup>б</sup>, Е. С. Кашина<sup>а</sup>**

<sup>а</sup> *Волгоградский государственный технический университет*

<sup>б</sup> *АУ ЯНАО «Управление ГЭПД»*

## **ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ СТАДИИ ВОЗВЕДЕНИЯ МОНОЛИТНОГО ЖЕЛЕЗОБЕТОННОГО КАРКАСА НА УСИЛИЯ В НЕСУЩИХ КОНСТРУКЦИЯХ**

Исследование направлено на уточнение расчетной схемы высотного железобетонного здания с учетом стадий его возведения в программном комплексе «Лира-САПР». В данной статье предлагается методика расчета железобетонного каркаса с учетом модуля «Монтаж». Даны сравнительные характеристики и усилия двух вариантов расчетных схем, проведен анализ продольных усилий, возникающих в колоннах, особенно последних этажей, а также некоторых локальных изгибающих моментов, возникающих в плитах перекрытия при образовании на них временных складов материалов. Сделано заключение о правильности расчетной схемы с учетом стадии возведения всего железобетонного каркаса.

**К л ю ч е в ы е с л о в а:** строительные конструкции, высотный железобетонный дом, стадии возведения, монтаж, напряженно-деформированное состояние, метод конечных элементов.

В современном мире использование разнообразных программных комплексов является неотъемлемой частью проектирования [1]. Данный инструментарий постоянно совершенствуется и позволяет более детально изучать различные здания и сооружения, анализировать работу их конструкций, оценивать правильность принятых решений или доказывать возможность применения более эффективных методов.

Каждый такой комплекс многократно выполняет различные итерации, включая расчет усилий, подбор сечений и армирование элементов конструкции, проверку по предельным состояниям и т. д. Чаще всего в рабочем проекте используются расчетные схемы, которые уже целиком собраны и показывают итоговое напряженно-деформированное состояние (НДС) строительных конструкций зданий и сооружений.

Конструкции монолитных железобетонных высотных зданий относятся к такому виду сооружений, для которых процесс возведения может существенно влиять на проектные решения, т. к. в процессе возведения происходят изменения расчетной схемы, связанные со спецификой материала.

При монтаже железобетонных конструкций необходимы временные дополнительные конструкции — опалубки, стойки и др. [2, 3]. От данного инвентаря на только возведенные горизонтальные конструкции (ростверк, плитный фундамент, плиты перекрытия и покрытия) действуют дополнительные усилия [4—9].

Также необходимо учесть особенность самого материала — железобетону требуется время для набора проектной прочности<sup>1</sup>, которая зависит от класса бетона и от времени года проведения работ. При зимнем домостроении только возведенные конструкции попадают под действие дополнитель-

<sup>1</sup> СП 63.13330.2018 Бетонные и железобетонные конструкции. Основные положения. Актуализированная редакция СНиП 52-01—2003. М. : Минрегионразвития России, 2018. 119 с.

ных добавок в составе, под временное замораживание и оттаивание, что тем более влияет на показатели жесткостных и прочностных характеристик бетона и несущего элемента в целом<sup>2</sup>. Само понятие «стадия возведения» является совокупностью процессов, которые обязательны при монтаже конструкций монолитного каркаса.

Все ранее изложенные факторы необходимо учитывать при проектировании, т. к. нормативно-правовая база требует от инженеров-проектировщиков создания расчетных схем зданий и сооружений, максимально отражающих работу реальных конструкций [10—14].

В статье авторами предлагается усовершенствование методики расчета здания с применением модуля «Монтаж» в совокупности расчетных комплексов «Мономах» и «Лира-САПР», также впервые предложен алгоритм выполнения расчетов с итоговым сравнительным анализом полученных результатов.

Объектом исследования выбран 24-этажный монолитный железобетонный жилой дом, район строительства — г. Волгоград. Начальная расчетная схема выполнена в ПК «Мономах» [15]. Здание стоит на свайном фундаменте вместе с ростверком.

Для проведения сравнительного анализа усилий сперва выполним расчет методом конечных элементов (МКЭ) [16, 17] расчетной схемы, которая не учитывает стадии возведения несущих и ограждающих конструкций здания. Расчетная схема соответствует требованиям нормативной документации: собраны постоянные, длительные и кратковременные нагрузки, ветровая и снеговая нагрузка [18].

На рисунках 1 и 2 представлены общий вид расчетной схемы и в плане. Также составлена таблица расчетных сочетаний усилий (PCY) по СП 20, выполнен импорт схемы в ПК «Лира-САПР» [19].

По полученным результатам расчета (см. рис. 1, б) можно заметить достаточно интересный случай с усилиями, возникающими в верхних колоннах. Данные конструкции получают положительные продольные усилия, т. е. подвергаются растяжению, что в корне является неверным. Колонны в монолитном железобетонном каркасе должны испытывать сжатое НДС.

Также возьмем плиту перекрытия типового этажа (рис. 3) для дальнейшего анализа усилий от временного склада или опалубки. Для возможного решения возникшей задачи предлагается использование стадии возведения с помощью модуля «Монтаж» в ПК «Мономах» и «Лира-САПР».

Железобетонный каркас многоэтажного жилого дома возводится следующим образом: сваи, ростверк, далее стены и колонны подвального этажа, плита перекрытия, и далее поэтажное возведение несущих элементов, которое заканчивается монтажом плиты покрытия над лестничным пролетом.

Для моделирования данных стадий в ПК «Мономах» воспользуемся следующими функциями. Для каждой плиты перекрытия задаем приложение ее собственного веса после возведения всего этажа (рис. 4).

---

<sup>2</sup> СП 430.1325800.2018 Монолитные конструктивные системы. Правила проектирования. М. : Минстрой России, 2018. 64 с.

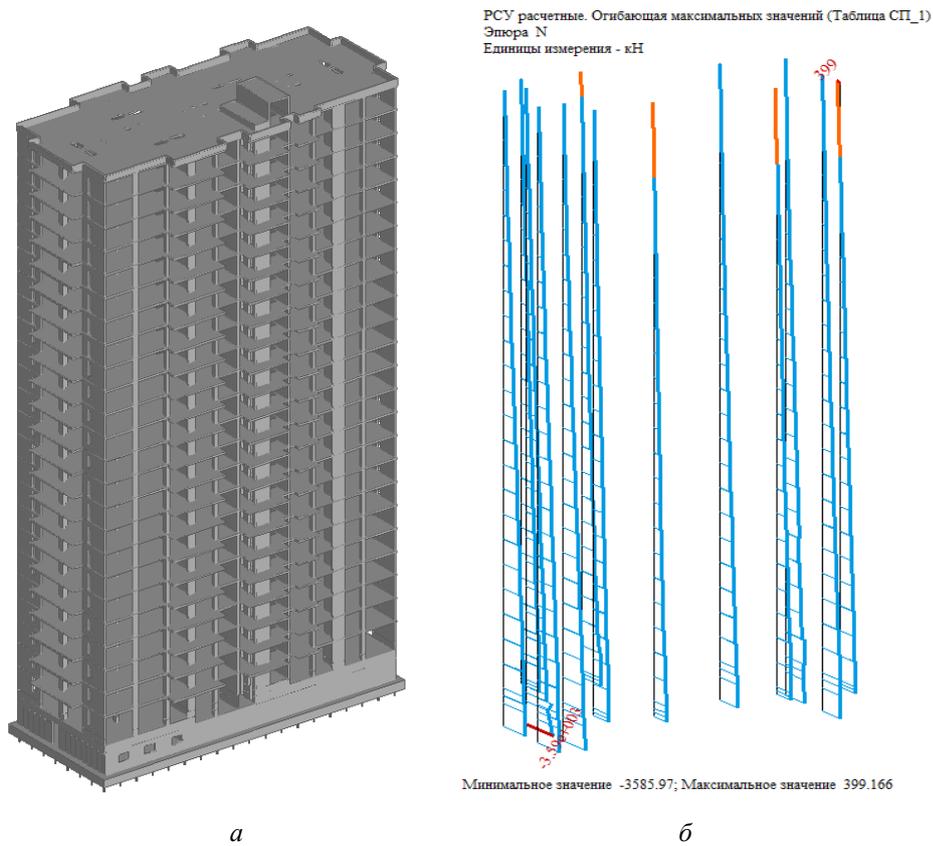


Рис. 1. Расчетная схема 24-этажного здания в ПК «Мономах»:  
*a* — общий вид; *б* — эпюра продольных усилий в колоннах, кН

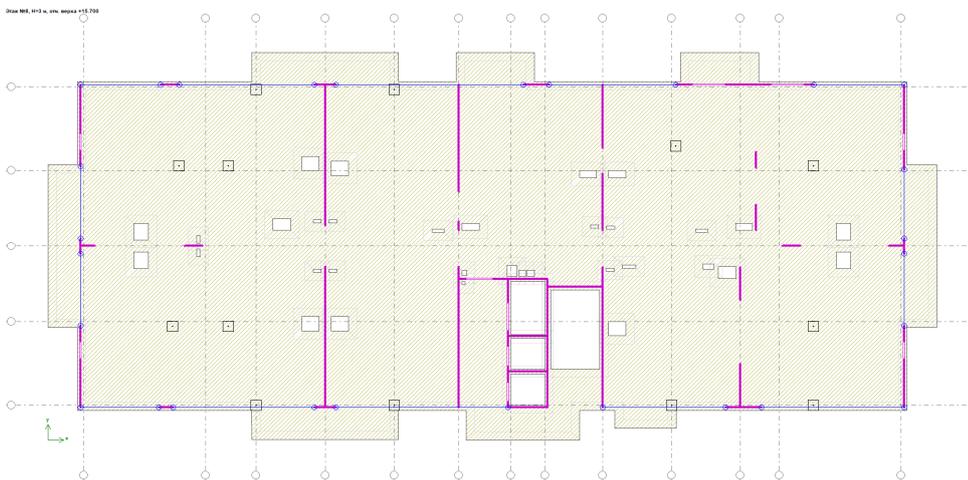


Рис. 2. План типового этажа, нагрузки от постоянного загрузения

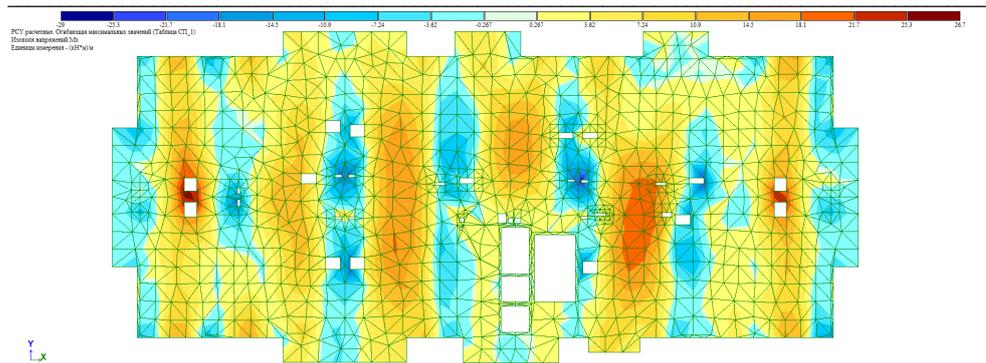


Рис. 3. Изополя напряжений  $M_x$  типовой плиты перекрытия

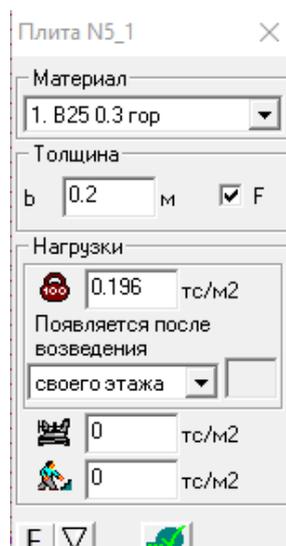


Рис. 4. Свойства плиты перекрытия  
типového этажа

Похожим образом по контуру плиты задаются нагрузки от ограждающих конструкций (внешних кирпичных стен). В данном случае считается, что возведение таких конструкций начинается после следующих этапов возведения зданий: 5, 8, 11, 15, 19, 27 (этапы считаются с учетом того, что первый этаж принят за 3 этап).

Данное действие обусловлено тем, что после определенного количества возведенных этажей несущего каркаса, начинается устройство ограждающих конструкций, т. к. бетон уже набрал прочность и может выдержать необходимую вертикальную нагрузку, а значит можно сократить длительность производства работ по возведению дома.

Вес от конструкций задается в постоянном загрузении с помощью равномерно-распределенной линейной нагрузки (рис. 5).

Вновь импортируем схему в ПК «Лири-САПР» и дорабатываем стадии монтажа. В монтажной таблице проверяем заданные параметры возведения нашей расчетной схемы. Для каждой монтируемой группы в разных стадиях задаем поправочные коэффициенты к модулю деформации и к прочности

бетона, принимаем следующие поправочные коэффициенты: 0,3; 0,6; 0,9. С учетом возведения предыдущего этажа повышаем коэффициент в конечном результате до единицы и считаем, что железобетон набрал свою проектную прочность (рис. 6) [20].

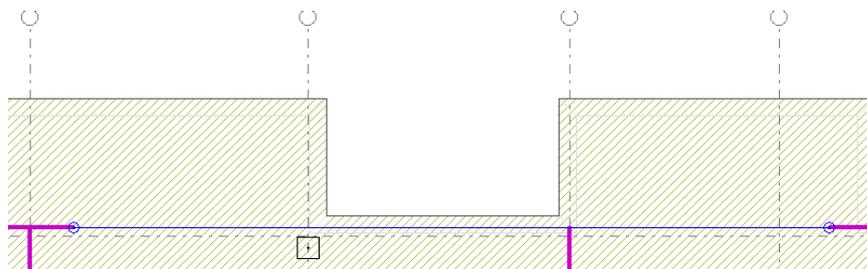


Рис. 5. Линейная нагрузка от ограждающих конструкций

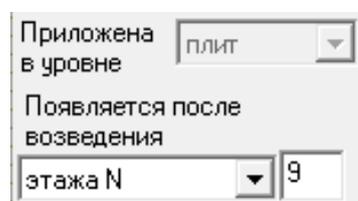


Рис. 6. Стадия монтажа для нагрузок

В дополнительных загрузениях задаем временные нагрузки на плиты перекрытия от опалубок и строительного материала, а также коэффициент использования этой нагрузки. Такой коэффициент принимается от  $-1$  до  $+1$ . При возведении 6-го этажа на плиту перекрытия локально (рис. 7) действует усилие от склада равное  $50 \text{ кг/м}^2$ . На следующей стадии уменьшается нагрузка от склада (материал устанавливают в проектное положение) и действует уже  $25 \text{ кг/м}^2$ , а после возведения 8-го этажа нагрузка от склада и вовсе пропадает. Таблица коэффициентов для данных этажей представлена на рис. 8.

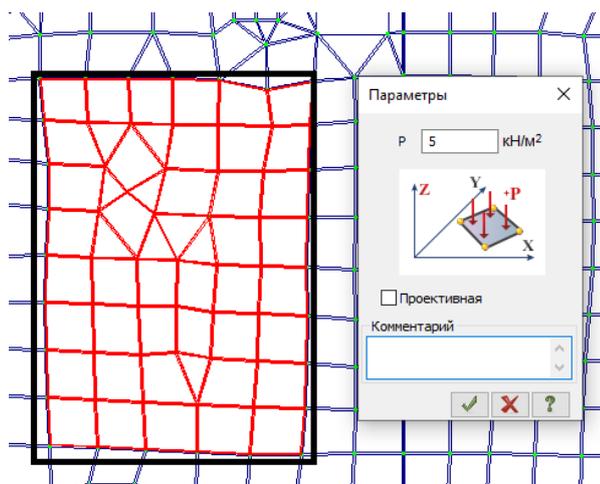


Рис. 7. Локальная нагрузка от склада

Стадия 9 Коэффициенты учета дополнительных нагрузжений		Стадия 10 Коэффициенты учета дополнительных нагрузжений		Стадия 11 Коэффициенты учета дополнительных нагрузжений	
№ згр.	Козф.	№ згр.	Козф.	№ згр.	Козф.
30	0	30	0	30	0
31	0	31	0	31	0
32	0	32	0	32	0
33	0	33	0	33	0
34	1	34	0.5	34	0

Рис. 8. Фрагмент таблицы коэффициентов

### Результаты расчета МКЭ

Выполнив две расчетные схемы, сравним полученные результаты расчета колонн и плиты перекрытия с локальной нагрузкой в виде временного склада.

Результат расчета продольных усилий колонн представлен на рис. 9. По эпюрам усилий видим, что в варианте с учетом стадийного возведения растянутые стержни исчезли, все стержни получают отрицательные усилия и испытывают сжатое НДС по высоте всего здания. Минимальное значение в колонне — 3288 кН.

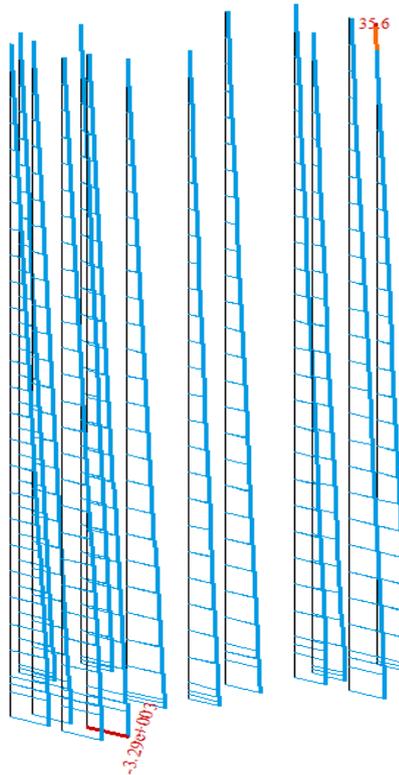


Рис. 9. Эпюра продольных усилий колонн с учетом стадии возведения, кН

Также проведем анализ результатов по плите перекрытия, оценим временное влияние локальной нагрузки на мозаике напряжений (рис. 10). Фрагменты представлены по стадиям загрузки: 8, 9, 10, 11-й. На 8-й стадии нагрузка еще не действует, на 9-й достигает своего максимума, на 10-й начина-

ется уменьшение напряжения, на 11-й — дополнительные напряжения пропадают вовсе. Отмечаем отдельно факт, что зона положительного напряжения на 11-й стадии возведения больше, чем на 8-й. Хотя дополнительные усилия больше не действуют, на данном участке эта зона возникает в результате передачи новой постоянной нагрузки от вышележащих железобетонных элементов. В таблице 1 представлены значения напряжений  $M_x$ . Полученный результат необходимо учесть при проектировании плиты перекрытия и проверить, сможет ли заданное армирование выдержать временную нагрузку.

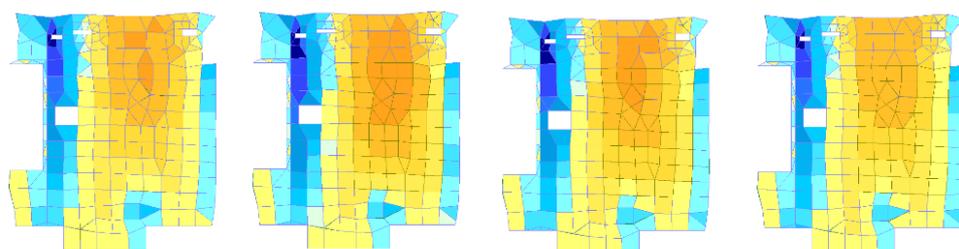


Рис. 10. Фрагмент мозаики напряжений  $M_x$ , (кН·м)/м, плиты перекрытия с локальным временным нагружением монтажных стадий 8, 9, 10, 11 соответственно

Таблица 1

Сравнение напряжений  $M_x$

Стадия нагружения	Минимальное напряжение, (кН·м)/м	Максимальное напряжение, (кН·м)/м
8	-29	14,9
9	-32,9	19,7
10	-31,4	17,1
11	-29,8	14,9

Сравнивая полученные перемещения по трем направлениям (табл. 2), замечаем, что при учете стадии монтажа, перемещения становятся намного меньше. Деформации по  $Z$  реалистичнее распределяются по всему каркасу, максимальные перемещения располагаются ближе к фундаменту зданию (рис. 11).

Таблица 2

Сравнение перемещений

Направления	Максимальное перемещение без стадии возведения, мм	Максимальное перемещение со стадией возведения, мм
$X$	-10,1	-3,87
$Y$	-8,96	-4,75
$Z$	-60,2	-39,5

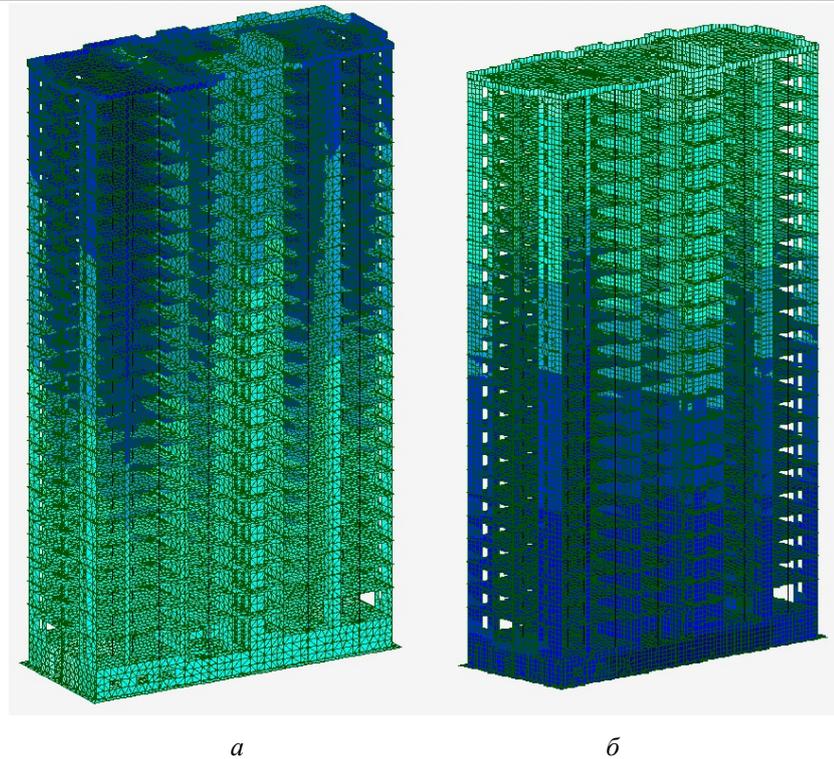


Рис. 11. Деформации по оси  $Z$ : *a* — без учета возведения; *б* — с учетом

### Выводы

Сравнительный анализ показал большое численное расхождение результатов. Расчетная схема с применением модуля «Монтаж» является более доработанной, в нее входят стадии возведения монолитного железобетонного каркаса, а также есть возможность приложения локальных временных нагрузок с последующим их снятием. Используя весь функционал данного модуля, получены уточненные вертикальные усилия в колоннах верхних этажей и результаты деформаций по трем осям. Предложенная методика дополняет и улучшает расчетную схему особенностями реального здания, которые обязательно должны быть учтены на стадии проектирования, ведь именно от совокупности таких факторов зависит надежность, безопасность и долговечность зданий и сооружений.

### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Михайлова Н. А. Информационные технологии в строительном образовании // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура. 2017. Вып. 50(69). С. 451—461.
2. Блохина Н. С. Проблема учета физической нелинейности при расчете строительных конструкций // Вестник МГСУ. 2011. № 6. С. 384—387.
3. Евсеев Н. А. Метод расчета зданий из монолитного железобетона во взаимодействии с основанием при учете физически нелинейной работы железобетонных конструкций // Жилищное строительство. 2019. № 11. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/metod-rascheta-zdaniy-iz-monolitnogo-zhelezobetona-vo-vzaimodeystvii-s-osnovaniem-pri-uchete-fizicheski-nelineynoy-raboty>.
4. Duan M. Z., Chen W. F. Improved simplified method for slab and shore load analysis during construction. Project Report CE-STR-95-21. West Lafayette, IN: Purdue University, 1995.

5. *Buitrago M., Adam J. M., Calderón P. A., Moragues J. J.* On the use of experimental testing in RC building structures under construction // Proceedings of the Ninth International Structural Engineering and Construction Conference. 2017. Valencia, Spain : ISEC Press, 2017.
6. *Liu X. L., Chen W. F.* Effect of creep on load distribution in multistory reinforced concrete buildings during construction // *Struct J.* 1987. Vol. 84. Iss. 3. Pp. 192—200.
7. *Duan M. Z., Chen W. F.* Effects of creep and shrinkage on slab-shore loads and deflections during construction. Project Report CE-STR-95-24. West Lafayette, IN: Purdue University, 1995.
8. *Xi H. F., Fang D. P., Zhang C. M., Geng C. D.* Creep effects on load distribution of reinforced concrete structures during construction // *Gongcheng Lixue/Eng Mech.* 2007. Vol. 24. Iss. 3. Pp. 91—96.
9. *Alvarado Y. A., Calderón P. A., Gasch I., Adam J. M.* A numerical study into the evolution of loads on shores and slabs during construction of multistorey buildings. Comparison of partial striking with other techniques // *Eng. Struct.* 2010. Vol. 32. Iss. 10. Pp. 3093—3102.
10. *Мкртычев О. В., Андреев М. И., Сидоров Д. С.* Анализ изменения тенденции в конструкциях с учетом стадийности возведения // *Строительная механика инженерных конструкций и сооружений.* 2018. № 4. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/analiz-izmeneniya-usiliy-v-konstruktsiyah-pri-uchete-stadiynosti-vozvedeniya>.
11. *Уткина В. Н., Безрукова Е. С.* Моделирование процесса возведения высотного каркасно-монолитного здания // *Эксперт: теория и практика.* 2020. № 4(7). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/modelirovanie-protssessa-vozvedeniya-vysotnogo-karkasno-monolitnogo-zdaniya>.
12. *Городецкий А. С., Лазарев А. А.* «Мономах-САПР» — программный комплекс для автоматизированного проектирования железобетонных и армокаменных конструкций многоэтажных каркасных зданий // *Новые компьютерные технологии.* 2011. № 1(9). С. 38—41.
13. *Рудых О. Л.* Нелинейный расчет напряженно-деформированного состояния сооружений при учете последовательности возведения // *Вестник ИргТУ.* 2010. № 1(41). С. 239—244.
14. *Бабушкина Д. Р., Грязнов С. Ю., Уткина В. Н.* Проектирование монолитных железобетонных плит перекрытий высотного жилого комплекса с применением ПК «Мономах-САПР» // *Огарев-Online.* 2020. № 3(140). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/proektirovanie-monolitnyh-zhelezobetonnyh-plit-perekrytiy-vysotnogo-zhilogo-kompleksa-s-primeneniem-pk-monomah-sapr>.
15. *Кашина Е. С.* Анализ влияния последовательного возведения железобетонного каркаса многоэтажного жилого дома // *Конкурс научно-исследовательских работ студентов Волгоградского государственного технического университета: тез. докл. Волгоград: Изд-во ВолгГТУ, 2024. С. 297—298.*
16. *Ignatiev A. V., Ignatiev V. A.* Specific features and advantages of the finite element method in the form of classical mixed method as an alternative for the traditional finite element method // *International Journal for Computational Civil and Structural Engineering.* 2014. Vol. 10. Iss. 4. Pp. 121—124.
17. *Игнатьев А. В.* Метод конечных элементов в форме классического смешанного метода (особенности и возможности применения) // *Строительная механика и расчет сооружений.* 2015. № 3(260). С. 55—60.
18. *Габова В. В., Родионов А. В., Сиротенко О. О.* Исследование поведения конструкций высотных зданий при воздействии ветровых нагрузок // *Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура.* 2023. Вып. 5(93). С. 5—17.
19. *Габова В. В., Быкодеров М. В., Кашина Е. С.* Анализ взаимного влияния многоэтажного жилого дома и близкорасположенного подземного автопаркинга // *Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура.* 2024. Вып. 2(95). С. 90—98.
20. *Пшеничкина В. А., Гриценко Б. С., Глухов А. В., Бабович М.* Надежность железобетонных конструкций с учетом фактора ползучести бетона // *Строительные материалы и изделия.* 2020. Т. 3. № 6. С. 35—43.

© Габова В. В., Быкодеров М. В., Кашина Е. С., 2024

Поступила в редакцию  
в октябре 2024 г.

*Ссылка для цитирования:*

*Габова В. В., Быкодеров М. В., Кашина Е. С.* Исследование влияния стадии возведения монолитного железобетонного каркаса на усилия в несущих конструкциях // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура. 2024. Вып. 4(97). С. 21—30. DOI: 10.35211/18154360\_2024\_4\_21.

*Об авторах:*

**Габова Виктория Викторовна** — канд. техн. наук, доц., доц. каф. строительных конструкций, оснований и надежности сооружений, Волгоградский государственный технический университет (ВолгГТУ). Российская Федерация, 400074, г. Волгоград, ул. Академическая, 1; gabovavv@yandex.ru

**Быкодеров Максим Викторович** — канд. техн. наук, эксперт по разделу «Конструктивные решения», Автономное учреждение Ямало-Ненецкого автономного округа «Управление государственной экспертизы проектной документации» (АУ ЯНАО «Управление ГЭПД»); bmvwww@gmail.com

**Кашина Екатерина Сергеевна** — магистрант, Волгоградский государственный технический университет (ВолгГТУ). Российская Федерация, 400074, г. Волгоград, ул. Академическая, 1; keit\_cat08@mail.ru

**Victoria V. Gabova<sup>a</sup>, Maksim V. Bykoderov<sup>b</sup>, Ekaterina S. Kashina<sup>a</sup>**

<sup>a</sup> *Volgograd State Technical University*

<sup>b</sup> *AU YANAO “GEPD Management”*

## **STUDY OF THE EFFECT STAGE OF CONSTRUCTION OF A MONOLITHIC REINFORCED CONCRETE FRAME ON FORCES IN BEARING STRUCTURES**

The study is aimed at clarifying the calculation scheme of the high-rise reinforced concrete building with the construction phase in the program complex “Lira-SAPR”. In this article the method of calculation of reinforced concrete frame taking into account the module “the installation” is proposed. The comparative characteristics and efforts of the two variants of the calculation schemes are given, the analysis of longitudinal forces arising in the columns, in particular the last floors, as well as some local bending moments, overlapping slabs when temporary material warehouses are formed on them. The article makes a conclusion about correctness of calculation scheme taking into account stage of construction of all reinforced concrete frame.

**Key words:** building structures, reinforced concrete building, construction phase, the installation, stress-strain state, finite element method.

*For citation:*

Gabova V. V., Bykoderov M. V., Kashina E. S. [Study of the effect stage of construction of a monolithic reinforced concrete frame on forces in bearing structures]. *Vestnik Volgogradskogo gosudarstvennogo arhitekturno-stroitel'nogo universiteta. Seriya: Stroitel'stvo i arhitektura* [Bulletin of Volgograd State University of Architecture and Civil Engineering. Series: Civil Engineering and Architecture], 2024, iss. 4, pp. 21—30. DOI: 10.35211/18154360\_2024\_4\_21.

*About authors:*

**Victoria V. Gabova** — Candidate of Engineering Sciences, Docent, Volgograd State Technical University (VSTU). 1, Akademicheskaya st., Volgograd, 400074, Russian Federation; gabovavv@yandex.ru

**Maksim V. Bykoderov** — Candidate of Engineering Sciences, Autonomous institution of the Yamal-Nenets autonomous district “Management of state expertise of project documentation” (AU YANAO “GEPD Management”); bmvwww@gmail.com

**Ekaterina S. Kashina** — Master’s Degreee student, Volgograd State Technical University (VSTU). 1, Akademicheskaya st., Volgograd, 400074, Russian Federation; keit\_cat08@mail.ru